

Meng Wu

Physical-Layer Cooperation in Coded OFDM Relaying Systems

Band 4

Dissertationen aus dem
Arbeitsbereich Nachrichtentechnik
der Universität Bremen
Prof. Dr.-Ing. Armin Dekorsy



Physical-Layer Cooperation in Coded OFDM Relaying Systems

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt dem Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik)

der Universität Bremen

von

M.Sc. Meng Wu

Tag des öffentlichen Kolloquiums:	05. Oktober 2017
Gutachter der Dissertation:	Prof. Dr.-Ing. A. Dekorsy Prof. Dr.-Ing. A. Klein
Weitere Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer Prof. Dr.-Ing. habil. V. Kühn



Universität
Bremen

Ulm, Dezember 2017

Dissertationen aus dem Arbeitsbereich Nachrichtentechnik der
Universität Bremen

Band 4

Meng Wu

**Physical-Layer Cooperation in Coded
OFDM Relaying Systems**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5625-9

ISSN 2366-276X

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Preface

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich Nachrichtentechnik des Instituts für Telekommunikation und Hochfrequenztechnik der Universität Bremen.

Erstens möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. A. Dekorsy meine allerherzlichste Dankbarkeit für seine Betreuung aussprechen, die zum Erfolg dieser Promotion durch hilfreiche Begleitung und Anregungen sowie endlose Ermutigung führt. Frau Prof. Dr.-Ing. A. Klein von der technischen Universität Darmstadt gilt mein großer Dank für die Übernahme des Zweitgutachtens und ihr Interesse an dieser Arbeit. Den Herren Prof. Dr.-Ing. K.-D. Kammeyer und Prof. Dr.-Ing. habil. V. Kühn aus der Universität Rostock bin ich für ihre Tätigkeit als Prüfer verbunden.

Neben den Gutachtern trägt Herr Dr.-Ing. D. Wübben hohen Anteil am Gelingen dieser Arbeit, deshalb gilt ihm meine tiefe Dankbarkeit für die fachliche Beratungen und wertvolle Anregungen bei der Durchführung der zwei "Communications in Interference Limited Networks (COIN)" Projekten. Ich bedanke mich auch bei Herren Dr.-Ing. C. Bockelmann, Dipl.-Ing. M. Woltering und Dr.-Ing. F. Lenkeit für die reichhaltigen Diskussionen. Weiterer Dank geht an Herren Dr.-Ing. D. Wübben, Dipl.-Ing. M. Woltering, M.Sc. Y. Ji, M.Sc. G. Xu und Dipl.-Ing B.-S. Shin für die sorgfältige Durchsicht dieses Manuskripts und die hilfreichen Ratschläge. Gleichfalls gilt mein Dank der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung meiner Stelle während der Projektlaufzeit.

Meinen besonderen Dank verdienen Herren M.Sc. F. Monsees, Dipl.-Ing. M. Woltering und Dr.-Ing. F. Lenkeit für die Unterstützung bei der deutschen kulturellen Integration, die aus meiner Sicht ebenso wichtig wie die fachliche Vertiefung ist.

Ohne den Rückhalt meiner Familie hätte ich die Promotion bestimmt nicht geschafft, und so gilt mein aufrichtiger Dank meinen Eltern für die unendliche geistige Aufmunterung. Zu guter Letzt möchte ich mich bei

meiner geliebten Ehefrau Dr. rer. pol. F. Li für ihr konstantes Verständnis und ihre bedingungslose Unterstützung bedanken.

Ulm, Dezember 2017

Meng Wu

Contents

Preface	III
1 Introduction	1
1.1 Motivation	1
1.2 Thesis Origin and Focus	2
1.3 Main Contributions	2
1.4 Thesis Structure	4
1.5 Notation	5
2 Fundamentals and Preliminaries	7
2.1 Overview	7
2.2 Basics of Digital Communications	7
2.2.1 Transmitter	8
2.2.2 Channel	8
2.2.3 Receiver	11
2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing	11
2.4 Channel Coding	13
2.4.1 Rate Compatible Punctured Convolutional Codes	14
2.4.2 Low-Density Parity-Check Codes	17
2.5 Digital Modulation	19
2.5.1 Alphabet Constrained Mapping	20
2.5.2 Soft-Output Demapping	22
2.6 Spatial Diversity	23
2.6.1 Maximum Ratio Combining	23
2.6.2 Orthogonal Space-Time Block Codes	25
2.7 Information Theory	30
2.7.1 Information and Entropy	30
2.7.2 Mutual Information	30
2.7.3 Capacity in AWGN Channels	32
2.7.4 Capacity with Discrete Alphabet	33

2.8	Chapter Summary	34
3	One-Way SISO Relaying	35
3.1	Overview	35
3.2	Basics of Relaying Communications	36
3.2.1	System Model	36
3.2.2	Conventional Relaying Schemes	37
3.3	OFDM-based Relaying Schemes	38
3.3.1	Amplify-Forward with Constant Power	40
3.3.2	Amplify-Forward with Constant Gain	42
3.3.3	Decode-Forward	42
3.3.4	Decode-Quantize-Forward	44
3.4	Performance Evaluation	47
3.5	Chapter Summary	53
4	One-Way Distributed Relaying	55
4.1	Overview	55
4.2	System Model	56
4.3	Introduction to Distributed MIMO Technologies	57
4.3.1	Cooperation at Receiver Side of VAA	58
4.3.2	Cooperation at Transmitter Side of VAA	59
4.4	Adaptive Inter-Relay Cooperation	60
4.4.1	General Description	61
4.4.2	Inter-Relay Cooperation with Correct Relays	64
4.4.3	Inter-Relay Cooperation without Correct Relays	65
4.4.4	Throughput Analysis	70
4.5	Performance Evaluation	72
4.6	Chapter Summary	82
5	Two-Way SISO Relaying	83
5.1	Overview	83
5.2	Basics of Two-Way Relaying Communications	84
5.2.1	Four-Phase Scheme	84
5.2.2	Three-Phase Scheme	86
5.2.3	Two-Phase Scheme with Physical-Layer Network Coding	87
5.3	APP-based Schemes	91
5.3.1	Definitions	91
5.3.2	Separated Channel Decoding	95
5.3.3	Joint Channel Decoding and Physical-Layer Network Coding	99
5.3.4	Generalized Joint Channel Decoding and Physical-Layer Network Coding	103

5.3.5	Performance Evaluation	107
5.4	Phase Control Strategy	109
5.4.1	Mutual Information with Optimal Phase Control . . .	110
5.4.2	Linear Approximation of Channel Phase	113
5.5	Carrier Frequency Offset Mismatch	116
5.5.1	System Formulation for CFO	117
5.5.2	Carrier Frequency Offset Compensation	119
5.5.3	Inter-Carrier Interference Cancellation	122
5.6	Extention to MIMO Relaying	127
5.6.1	System Model	127
5.6.2	Impact on APP-based Schemes	129
5.6.3	Common Multi-User MIMO Detection Schemes . . .	130
5.6.4	Performance Evaluation	134
5.7	Chapter Summary	137
6	Two-Way Distributed Relaying	139
6.1	Overview	139
6.2	System Model	140
6.3	Traditional Adaptive Broadcast Transmission	141
6.3.1	Scheme Description	142
6.3.2	Outage Analysis	142
6.4	Modified Adaptive Broadcast Transmission	145
6.4.1	Scheme Description	145
6.4.2	Outage Analysis	147
6.4.3	Signaling Overhead - CRC over the Air	150
6.5	Performance Evaluation	151
6.6	Chapter Summary	159
7	Summary	161
	Acronyms	165
	List of Symbols	169
	Bibliography	175
	Index	185